Journal of Occupational Hygiene Engineering Volume 8, Issue 4, Winter 2022, Pages: 59-68

Original Article

doi: 10.52547/johe.8.4.59

Identification and Assessment of Human Errors of Overhead Crane Operators using SHERPA and SPAR-H Techniques

Tahmasb Akhtar[1], Reza Yeganeh[2], Zabihollah Damiri[3,*]

[1] *MSc in Safety Engineering, Safety Expert, Technical and Support Services Unit, Hormozgan Steel Company, Bandar Abbas, Iran*

[2] *PhD Candidate, Department of in Occupational Safety and Health Engineering, School of Public Health, Hamadan University of Medical Science, Hamadan, Iran*

[3] *PhD Candidate, Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Shiraz University of Medical Sciences, Shiraz, Iran*

**** Corresponding Author:** Zabihollah Damiri, Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Shiraz University of Medical Sciences, Shiraz, Iran. Email: zabiolah.damiri@gmail.com*

Received: 01/01/2021
Accepted: 28/09/2021

How to Cite this Article:
Akhtar F, Yeganeh R, Damiri Z. Identification and Assessment of Human Errors of Overhead Crane Operators using SHERPA and SPAR-H Techniques. *J Occup Hyg Eng*. 2022; 8(4): 59-68. DOI: 10.52547/johe.8.4.59

Abstract

Background and Objective: Human errors play a significant role in industrial accidents. Moving and unloading by overhead cranes is one of the most important operations prone to human error. In this study, human errors of overhead crane operators in the metal industry were investigated using Systematic Human Error Prediction and Reduction (SHERPA) and Standardized Plant Analysis Risk-Human Reliability Analysis (SPAR-H) methods.

Materials and Methods Initially, tasks of overhead crane operators were divided into sub-tasks and related activities by hierarchical analysis of tasks. Human errors were then identified and evaluated using the SHERPA method. Moreover, human errors probability was determined in tasks and sub-tasks using SPAR-H method.

Results: Based on the analysis of SHERPA worksheets, a total of 217 errors were identified. In total, 41%, 21%, 13%, 15%, and 10% of errors were functional, review, recovery, communicational, and selective errors, respectively. Moreover, based on the results of risk assessment, risk levels in 38%, 26%, 14%, and 22% of errors were unacceptable, undesirable, acceptable (needing revision), and acceptable (without revision), respectively. The highest error probability (0.3712) was related to three sub-tasks of longitudinal, transverse, upward, and downward movements. The lowest error probability (0.001) was related to the task of recording shift reports and transmission of information in oral and written forms.

Conclusion: Based on the obtained results, functional errors were the most recognized errors, and the highest error probability was related to the task of cargo handling along the route (0.3712). The necessary corrective measures were available to the crane unit personnel for the improvement of the work process and reduction of errors. The results indicated that the simultaneous adoption of qualitative and quantitative methods can identify and prioritize the recognized errors.

Keywords: Human Error; Roof Crane; SHERPA Technique; SPAR-H

Copyright © 2022 Journal of Occupational Hygiene Engineering. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) which permits copy and redistribute the material just in noncommercial usages, provided the original work is properly cite

مقاله پژوهشی

doi: 10.52547/johe.8.4.59

شناسایی و ارزیابی خطاهای انسانی در اپراتورهای جرثقیل‌های سقفی با استفاده روش‌های SHERPA و SPAR-H

طهماسب اختر[۱]، رضا یگانه[۲]، ذبیح‌اله دمیری[۳،*]

[۱] کارشناس ارشد مهندسی ایمنی، کارشناس ایمنی واحد خدمات فنی و پشتیبانی، شرکت فولاد هرمزگان، بندرعباس، ایران

[۲] دانشجوی دکترای بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران

[۳] دانشجوی دکتری تخصصی، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شیراز، شیراز، ایران

* **نویسنده مسئول:** ذبیح الله دمیری، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شیراز، شیراز، ایران. ایمیل: zabiolah.damiri@gmail.com

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۱۰/۱۲

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۷/۰۶

تمامی حقوق نشر برای دانشگاه علوم پزشکی همدان محفوظ است.

چکیده

سابقه و هدف: خطاهای انسانی نقش قابل ملاحظه‌ای در بروز حوادث صنعتی دارد. یکی از عملیات مهم مستعد خطای انسانی، جابه‌جایی و تخلیه بار با جرثقیل سقفی است. در این پژوهش خطاهای انسانی در اپراتورهای جرثقیل سقفی کابین‌دار در یک صنعت فلزی با استفاده از روش‌های SHERPA و SPAR-H بررسی شد.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه ابتدا وظایف اپراتورهای جرثقیل سقفی کابین‌دار با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی وظایف به زیروظایف و فعالیت‌های مرتبط تقسیم شد. سپس با استفاده از روش SHERPA خطاهای انسانی شناسایی و ارزیابی شد. همچنین با استفاده از روش SPAR-H احتمال بروز خطا در وظایف و زیروظایف آن‌ها تعیین شد.

یافته‌ها: تجزیه‌وتحلیل کاربرگ‌های SHERPA نشان داد در مجموع ۲۱۷ خطا شناسایی شد که ۴۱ درصد خطاها از نوع عملکردی، ۲۱ درصد از نوع بازبینی، ۱۳ درصد از نوع بازیابی، ۱۵ درصد از نوع ارتباطی و ۱۰ درصد از نوع انتخابی بودند. با توجه به نتایج ارزیابی ریسک انجام‌شده، ۳۸ درصد از خطاها در سطح ریسک غیرقابل قبول، ۲۶ درصد نامطلوب، ۱۴ درصد قابل قبول ولی نیاز به تجدید نظر و ۲۲ درصد قابل قبول بدون نیاز به تجدید نظر بودند. در یافته‌های حاصل از روش SPAR-H بیشترین احتمال خطا مربوط به سه زیروظیفه حرکت طولی، حرکت عرضی و حرکت بالا و پایین بود (۰/۳۷۱۲). کمترین احتمال خطا نیز به زیروظیفه ثبت گزارش شیفت و انتقال اطلاعات به صورت گفتاری و نوشتاری مربوط بود (۰/۰۰۱).

نتیجه‌گیری: با توجه به یافته‌ها، بیشترین نوع خطای شناسایی‌شده از نوع عملکردی و بیشترین میزان احتمال خطا در وظیفه حمل بار در طول مسیر (۰/۳۷۱۲) بود. در همین راستا برای کاهش خطا اقدامات اصلاحی لازم در راستای بهبود فرایند کاری و کاهش خطای انسانی در دسترس کارکنان واحد جرثقیل قرار گرفت. همچنین نتایج مطالعه نشان داد استفاده از روش‌های کیفی و کمّی به‌طور مشترک، امکان شناسایی و اولویت‌بندی خطاهای شناسایی‌شده را فراهم می‌کند.

واژگان کلیدی: خطای انسانی؛ جرثقیل سقفی؛ روش SHERPA؛ SPAR-H

مقدمه

در دنیای توسعه‌یافته امروزی، حوادث یکی از مهم‌ترین مشکلات شناخته می‌شوند. آمار حوادث نشان می‌دهد عامل بیش از ۹۰ درصد از حوادث صنعتی، به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم به خطاهای انسانی برمی‌گردد [۱]. رفتار ناایمن اصلی‌ترین نقش را در بروز حوادث دارد [۲،۳].

تحلیل حوادث بزرگ و فاجعه‌باری مانند حادثه مرگبار بوپال هند و فاجعه چرنوبیل نشان می‌دهد خطاهای انسانی در بروز این حوادث نقش اساسی داشته‌اند [۴]. در عملیات مختلف اشتباهات افراد در قالب رفتارهای ناایمن ازجمله خطاهای انسانی حادث می‌شود [۵]. خطای انسانی شکست ناخواسته فعالیت‌های هدفمند و برنامه‌ریزی شده‌در دستیابی به نتیجه مطلوب است [۶]. خطا نتیجه محدودیت‌های فیزیولوژی و روان

شناختی انسان و به‌طور قابل ملاحظه‌ای پیچیده است. اقدامات ناایمن در درجه اول ناشی از فرایندهای ذهنی نابجا مانند فراموشی، غفلت، بی‌توجهی، انگیزه ضعیف، بی‌دقتی و بی‌پروایی است [۷]. حتی خطاهای کوچک مربوط به عمل، تجربه کاری، تناسب کاری، ارتباط بازیابیو بررسی ممکن است به عواقب فاجعه‌بار منجر شود. همچنین خطای انسانی عامل اصلی حوادث صنعتی است که به علت افزایش بار روانی ناشی از فشار کاری در محیط‌های صنعتی مدرن اتفاق می‌افتد [۸].

خطاهای انسانی یکی از عوامل مهم بروز حوادث مربوط به جرثقیل است. تجزیه‌وتحلیل خطاهای انسانی در تحلیل ریسک عملیات جرثقیل سقفی کابین‌دار بسیار حیاتی است [۹]. روش‌های متعددی برای شناسایی و ارزیابی خطاها در مشاغل مختلف وجود دارند. برخی از این روش‌ها مثل SHERPA (Systematic Human Error Reduction andPrediction) و HET (Human Error Template) بیشتر برای شناسایی و رده‌بندی خطاهای کاربر استفاده می‌شوند. درحالی‌که برخی مثل HEIST (Human Error Identification in Systems Tool) و THEA (Technique for Human Error Assessment) برای شناسایی و پیش‌بینی خطا در یک سیستم جامع کاربرد دارند و بعضی از روش‌ها مثل HEART (Human Error Assessment and Reduction Technique) احتمال عددی بروز یک خطا را مشخص می‌کنند [۱۰].

یکی از روش‌های معتبر برای شناسایی و ارزیابی خطای انسانی، روش رویکرد سیستماتیک پیش‌بینی و کاهش خطای انسانی (SHERPA) است که به شناسایی خطاها بر مبنای اصول روان‌شناسی انسانی حاصل از تحلیل وظایف می‌پردازد. در این روش پنج حیطه خطای عملکردی، بازبینی، بازیابی، ارتباطی و انتخاب وجود دارد که به افزایش ایمنی و پیشگیری از حادثه و افزایش قابلیت اعتماد سیستم از طریق کاهش خطای انسانی کمک می‌کند. همچنین در ارائه راهکارهای کنترلی متناسب با نوع خطای شناسایی‌شده دقیق عمل می‌کند [۱۱-۱۳]. یکی از مراحل انجام SHERPA تحلیل شغلی است. ساختار تجزیه‌وتحلیل سلسله مراتبی به گونه‌ای است که شغل مدنظر به جزئیات و مرتبه‌های لازم برای انجام آن فعالیت تجزیه می‌شود. به‌منظور تجزیه کار ابتدا اهداف نهایی در نظر گرفته و برای دستیابی به آن وظیفه به جزءهای کوچک‌تر تقسیم می‌شود [۱۴].

یکی از روش‌های ارزیابی کمّی احتمال خطای انسانی، ارزیابی قابلیت اطمینان انسانی به روش واکاوی خطر استانداردشده صنعتی (SPAR-H) است. نخستین بار Blackman و همکارانش این روش را در سال ۲۰۰۵ به‌منظور ارزیابی قابلیت انسانی در نیروگاه هسته‌ای به کار گرفتند [۱۵، ۱۶] . روش SPAR-H یکی از روش‌های ارزیابی احتمال خطای انسانی است که برای طبقه‌بندی و کمی‌سازی سهم انسان در خطا به کار می‌رود. این روش به‌منظور ارزیابی‌های ریسک احتمالی (Probabilistic Risk Assessment) توسعه یافته است که با استفاده از آن می‌توان احتمال بروز خطاهای انسانی را در فعالیت‌های تشخیصی، عملکردی یا تشخیصی-عملکردی بر اساس عوامل مؤثر بر عملکرد برآورد کرد [۱۷]. محمدفام و همکاران خطاهای انسانی در اپراتورهای جرثقیل برجی را با استفاده از ترکیب دو روش SHERPA و CREAM (روش تحلیل خطاهای شناختی و قابلیت اطمینان انسان) ارزیابی کردند.

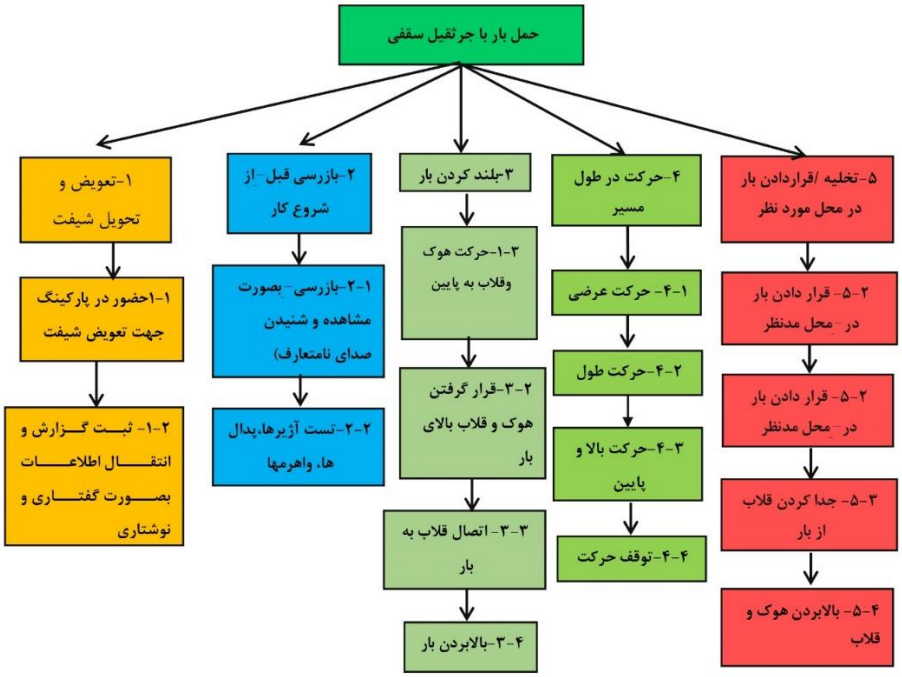
در مطالعات دیگری نیز ارزیابی و شناسایی خطاهای انسانی در اپراتورهای اتاق کنترل پالایشگاه نفت با روش SHERPA انجام شد [۱۸]. نتایج مطالعه مظلومی و همکاران در بررسی خطای انسانی در بخش اورژانس زایمان با روش ارزیابی قابلیت اطمینان انسان به روش واکاوی ریسک استاندارد (SPAR-H) نشان می‌دهند کمترین احتمال خطای انسانی مربوط به زیروظیفه کار با دستگاه تزریق پمپ سرم به میزان ۰/۵۵ درصد و بیشترین احتمال خطا مربوط به زیروظیفه تزریق فرآورده‌های خونی به میزان ۰/۷۸ درصد بوده است [۱۹]. جهانگیری و همکاران به‌منظور شناسایی و ارزیابی احتمال خطای انسانی در فرایند دیالیز از روش ارزیابی قابلیت اطمینان انسان به روش واکاوی ریسک استاندارد (SPAR-H) استفاده کردند [۲۰]. در مطالعه دیگری از این روش برای شناسایی و واکاوی خطاهای انسانی در فرایند صدور پروانه کار در یک صنعت پتروشیمی استفاده شده است [۴].

خطاهای انسانی یکی از عوامل بروز حوادث در عملیات باربرداری و از مهم‌ترین دلایل بروز حوادث مرتبط با جرثقیل‌ها است؛ بنابراین، شناسایی و ارزیابی خطای انسانی در جرثقیل‌ها ضروری است [۲۲]. با توجه به ماهیت کار جرثقیل‌های سقفی کابین‌دار که در آن یک اشتباه کوچک ممکن است باعث خسارات‌های جبران‌ناپذیری شود و همچنین گستره فعالیت این تجهیزات درصنایع، شناسایی انواع خطاهای احتمالی، ارزیابی و ارائه راهکارهای مناسب برای کاهش ریسک این‌گونه خطاها ضرورتی انکارناپذیر به شمار می‌رود.

با توجه به مطالعات انجام‌شده، روش SHERPA توانایی زیادی در شناسایی و پیش‌بینی خطاهای انسانی دارد، اما قادر به کمی‌سازی احتمال بروز خطا نیست و نیازمند تلفیق با دیگر روش‌هاست؛ بنابراین، با توجه به توانایی روش SPAR-H در کمی‌سازی احتمال بروز خطاهای انسانی در این مطالعه از ترکیب این دو روش برای شناسایی و ارزیابی کمی خطاهای انسانی در میان اپراتورهای جرثقیل‌های سقفی کابین‌دار استفاده شد.

روش کار

این پژوهش با هدف شناسایی و ارزیابی خطاهای انسانی پراتورها در جرثقیل‌های سقفی کابین‌دار انجام شده است. در این مطالعه برای شناسایی و پیش‌بینی انواع خطاهای انسانی از



شکل ۱: تحلیل شغلی اپراتور جرثقیل سقفی کابین‌دار به روش HTA

روش SHERPA و برای کمی‌سازی نرخ خطاهای انسانی از روش SPAR–H استفاده شده است. در این مطالعه واکاوی وظایف شغلی با استفاده از تجزیه‌وتحلیل سلسله مراتبی وظایف (HTA) انجام شد (شکل ۱).

در این مطالعه ۲۰ اپراتور بررسی شدند که در چهار شیفت (A، B، C و D) فعالیت داشتند. فعالیت آن‌ها شامل تعویض و تحویل شیفت، بازرسی قبل از شروع به کار، بلندکردن بار، حرکت در طول مسیر و تخلیه/ قراردادن بار در محل مدنظر بود. در مرحله بعد خطاهای انسانی مرتبط با اپراتور جرثقیل با استفاده از SHERPA بررسی شد. در این مرحله هر عملیات وظیفه به یکی از حالت‌های شکست شامل خطاها در عمل، خطاهای کنترلی، خطاهای بازیابی، خطاهای ارتباطی و خطاهای انتخاب طبقه‌بندی شد. سپس عواقب و توانایی بازیابی هر خطا تحلیل و طبقه‌بندی خطا در گروه‌های کم (خطا سابقه رخداد نداشته باشد)، متوسط (خطا در گذشته گاهی رخ داده باشد) و زیاد (خطا به‌طور مکرر اتفاق افتاده باشد) انجام شد. درنهایت تحلیل بحرانی و سپس تحلیل جبران در راستای پیشنهاد و برنامه‌ریزی استراتژی‌های کاهش خطا صورت پذیرفت [۲۲].

مراحل اجرای روش SHERPA شامل ۸ مرحله و به شرح زیر است:

گام اول: تحلیل سلسله مراتبی وظایف (Hieratchical task analysis: HTA)	**گام پنجم: تحلیل بازیابی**
گام دوم: طبقه‌بندی وظیفه	گام ششم: تحلیل احتمال خطا
گام سوم: شناسایی خطاهای انسانی	گام هفتم: تحلیل میزان بحرانی بودن
گام چهارم: تحلیل پیامد (Consequence analysis)	گام هشتم: تحلیل اقدامات کنترلی و اصلاحی

پس از جمع‌آوری داده‌ها، در ستون مربوط به سطح ریسک خطا، با استفاده از روش ارزیابی کیفی که در آن دسته‌بندی خطرات ناشی از خطای انسانی از نظر شدت به چهار دسته فاجعه‌بار، بحرانی، مرزی و جزئی و میزان شدت خسارات که به‌صورت مکرر، محتمل، گاه‌گاه، خیلی کم و غیرمحتمل طبقه‌بندی می‌شود، عمل شد. سطح ریسک از تلفیق احتمال و شدت هر یک از خطاها به صورت کمی (درصدی) بر اساس جداول ۱ تا ۴ برآورد می‌شود [۲۳].

جدول ۱: طبقه‌بندی شدت ریسک

نوع خطر	طبقه	تعریف
فاجعه‌بار	۱	مرگ‌ومیر یا از بین رفتن سیستم
بحرانی	۲	جراحات، بیماری‌های شغلی یا آسیب‌های واردشده به سیستم شدید است.
مرزی	۳	جراحات، بیماری‌های شغلی یا آسیب‌های واردشده به سیستم کم است.
جزئی	۴	جراحات، بیماری‌های شغلی یا آسیب‌های واردشده به سیستم خیلی کم است.

جدول ۲: احتمال وقوع خطر

احتمال وقوع	نوع خطر	توصیف خطر
مکرر	A	به‌طور مکرر اتفاق می‌افتد.
محتمل	B	در طول عمر سیستم چندین بار اتفاق می‌افتد.
گاه‌گاه	C	گاه‌گاه در طول عمر سیستم اتفاق می‌افتد.
خیلی کم	D	احتمال وقوع آن در طول عمر سیستم خیلی کم است.
غیرمحتمل	E	احتمال وقوع آن در طول عمر سیستم آنقدر کم است که می‌توان آن را در حد صفر تلقی کرد.

جدول ۳: ماتریس ارزیابی ریسک

شدت خطر / احتمال وقوع	فاجعه بار (۱)	بحرانی (۲)	مرزی (۳)	جزئی (۴)
مکرر (A)	1A	2A	3A	4A
محتمل (B)	1B	2B	3B	4B
گاه‌گاه (C)	1C	2C	3C	4C
خیلی کم (D)	1D	2D	3D	4D
غیرمحتمل (E)	1E	2E	3E	4E

در مرحله بعد با توجه تجزیه‌وتحلیل وظایف شغلی، خطاهای انسانی در هر مرحله با روش SPAR-H تجزیه‌وتحلیل می‌شود. در این روش هشت عامل مؤثر بر خطا شامل زمان در دسترس، استرس، تجربه و آموزش، پیچیدگی، تداخل انسان-ماشین، رویه، تناسب با وظیفه و فرایند کار در شاغل بررسی می‌شوند [۲۴]. در مطالعه حاضر، با استفاده از این روش به ترتیب مراحل زیر انجام شد:

۱- در مرحله اول، تجزیه‌وتحلیل وظایف با روش تجزیه‌وتحلیل سلسله مراتبی (HTA) به‌طور مستقل برای هر دو گروه از فعالیت‌های تشخیصی و عملی مرتبط با حرفه اپراتور جرثقیل انجام می‌شود. فعالیت‌های تشخیصی شامل تفسیر و تصمیم‌گیری، به دانش و تجربه برای درک شرایط موجود، برنامه‌ریزی، اولویت‌بندی فعالیت‌ها و تعیین عملکردهای مناسب متکی است. فعالیت‌های عملکردی نیز شامل یک یا تعداد بیشتری فعالیت است که با تشخیص، قوانین عملکردی و دستورالعمل‌ها مشخص می‌شود. نمونه‌هایی از فعالیت‌های عملکردی شامل کار با پدال‌ها،واکنش در برابر یک آلارم و ... است. با توجه به تعداد زیاد زیروظایف و فعالیت‌ها، برای تعیین اصلی‌ترین و بحرانی‌ترین وظایف اپراتورها، با تشکیل گروه‌های بارش افکار شامل سرشیفت‌ها و اپراتورها و نفرات باتجربه تعمیرات جرثقیل در بخش مربوطه در محیط انجام پژوهش، ضروری‌ترین فعالیت‌ها و پرخطرترین آن‌ها برای تحلیل قابلیت اطمینان انسان انتخاب شد. درنهایت این فعالیت‌های اصلی شناسایی و ارزیابی شدند.

۲- در این گام احتمال خطای انسانی تعیین شد. بدین

جدول ۴: معیار تصمیم‌گیری بر اساس شاخص ریسک

معیار ریسک	طبقه‌بندی ریسک
غیر قابل قبول	1A-1B-1C-2A-2B-3A
نامطلوب	1D-2C-2D-3B-3C
قابل قبول ولی نیاز به تجدید نظر	1E-2E-3D-3E-4A-4B
قابل قبول بدون نیاز به تجدید نظر (ایمن)	4C-4D-4E

ترتیب که کاربرگ تشخیص و عمل برای حرفه اپراتوری پس از وارد کردن اطلاعات پایه‌ای مؤثر بر خطا شامل سن، سابقه کار کلی و سابقه کار اپراتوری جرثقیل با حضور پژوهشگر و پس از ارائه اطلاعات لازم به افراد تکمیل شد. در این مرحله تمامی اپراتورها در مطالعه شرکت داده شدند و کاربرگ کارهای مربوطه برای تمامی آن‌ها تکمیل شد. این مرحله از مطالعه در قالب گام‌های زیر انجام شد.

الف) ارزیابی هریک از عوامل شکل‌دهی عملکرد (Performance Shaping Factor: PSF): در این مرحله هریک از عوامل شکل‌دهی عملکرد (PSFs) برای تشخیص یا عمل در وظیفه ارزیابی می‌شود. عوامل شکل‌دهی عملکرد شامل زمان در دسترس، استرس/ عوامل استرس‌زا، پیچیدگی، تجربه/ آموزش، روش‌های عملیاتی، ارگونومی، تناسب با وظیفه و فرایندهای کاری است. هر یک از این عوامل سطوح مختلفی با ضرایب خاص خود دارند. تعیین هریک از عوامل شکل‌دهی عملکرد (PSFs) در کاربرگ‌ها و فعالیت‌های تشخیصی و عملی ابتدا با استفاده از روش‌های مشاهده مستقیم و بدون تداخل اثرگذار در اجرای وظیفه روتین اپراتوها توسط فرد آنالیزکننده و سپس از طریق مصاحبه با سرشفیت‌ها و اپراتورهای دارای سابقه کاری زیاد یا تعمیرکاران باتجربه مشخص شد. ثبت مصاحبه به روش یادداشت‌برداری انجام شد.

ب) احتمال شکست تشخیص یا عمل: این احتمال به صورت زیر محاسبه می‌شود:

اگر همه مقادیر PSF کافی هستند، پس احتمال خطای تشخیص برابر است با ۰/۰۱

(۲) در غیر این صورت، احتمال شکست تشخیص برابراست با:

معادله ۱. محاسبه احتمال خطای تشخیصی:

۰/۰۱× زمان در درسترس × استرس و عوامل استرس‌زا × پیچیدگی × آموزش/ تجربه × روش‌های عملیاتی × ارگونومی/HMI × تناسب با وظیفه × فرایندهای کاری

اگر همه مقادیر PSF کافی هستند، پس احتمال خطای عملکردی برابراست با ۰/۰۰۱

در غیر این صورت، احتمال شکست تشخیص برابراست با:

معادله ۲. محاسبه احتمال خطای عملکردی

۰/۰۰۱× زمان در درسترس × استرس و عوامل استرس‌زا × پیچیدگی × آموزش/ تجربه × روش‌های عملیاتی × ارگونومی/HMI × تناسب با وظیفه × فرایندهای کاری

محاسبه عامل تنظیمی، زمانی که سه یا بیشتر PSFs با اثر منفی موجود است، به جای معادله بالا، باید از معادله دیگری استفاده شود که عامل تنظیمی نیز در آن محاسبه می‌شود. منظور از PSFs منفی، ضریب انتخابی بزرگ‌تر از ۱ است. HEP مناسب (NHEP) برای فعالیت‌های تشخیصی ۰/۰۱ و برای فعالیت‌های عملکردی ۰/۰۰۱ است. امتیاز PSF ترکیبی که در این حالت استفاده می‌ضود، حاصل ضرب همه مقادیر تعیین‌شده PSF است. ازاین‌رو، عامل تعدیل به صورت زیر برای محاسبه HEP به کار می‌رود:

معادله ۳. محاسبه احتمال با استفاده از ضریب تعدیل

$$HEP = \frac{NHEP * PSF}{NHEP - (PSF - 1)} + 1$$

ج) ثبت HEP تشخیص یا عمل نهایی: اگر عامل تعدیل به کار نرفته بود، بخش به‌عنوان HEP نهایی ثبت می‌شود و درصورتی‌که عامل تنظیمی به کار رفته بود، مقدار محاسبه و ثبت می‌شود.

د) محاسبه احتمال خطای وظیفه بدون معادله وابستگی (Pw/od): احتمال خطای وظیفه بدون معادله وابستگی (Pw/od)، حاصل جمع احتمال خطای تشخیص و عمل است. در مواردی که عمل مدنظر بدون تشخیص است، هیچ وابستگی وجود ندارد و این مرحله حذف می‌شود.

۳- تعیین میزان سهم وابستگی (Dependency) موجود بین وظایف، از جدول شرایط وابستگی ۳ استفاده شد که خود شامل تغییر در فرد تحلیل‌شده، محدوده زمانی باز یا بسته، تغییر مکان فرد تحلیل‌شده و وجود یا نبود نشانه‌های اضافی برای هدایت فرد به انجام یا عدم انجام یک خطا است. در اینجا منظور از وابستگی اثر منفی یک خطای انسانی بر خطاهای بعدی است که در احتمال خطای کلی محاسبه می‌شود. وابستگی ممکن است در حالت‌های کامل، زیاد، متوسط، کم یا صفر باشد. پس از تعیین مقدار وابستگی، میزان احتمال نهایی خطا محاسبه شد.

Pw/od = احتمال شکست وظیفه بدون رابطه وابستگی:

برای وابستگی کامل احتمال شکست برابر ۱ است.

برای وابستگی زیاد احتمال شکست برابر (۱+Pw/od)/۲ است.

برای وابستگی متوسط احتمال شکست برابر (۱+۶×Pw/od)/۷ است.

برای وابستگی کم احتمال شکست برابر (۱+۱۹×Pw/od)/۲ است .

برای وابستگی صفر احتمال شکست برابر Pw/od است.

ارزیابی سطح ریسک، با استفاده از احتمال و شدت خطا انجام می‌شود [۲۴،۲۵].

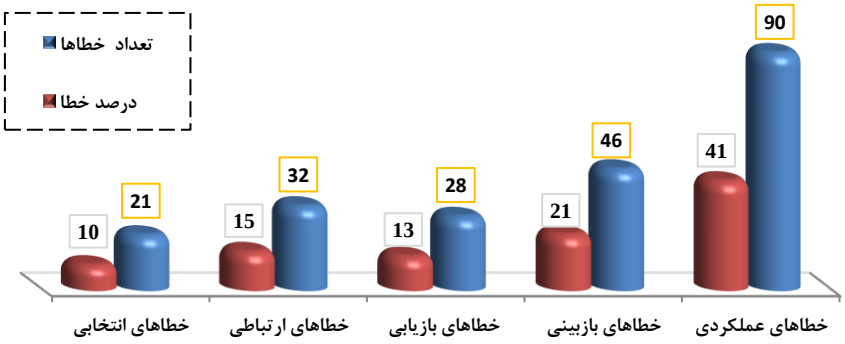
نتایج

در این مطالعه ۲۰ اپراتور بررسی شدند که در چهار شیفت (A، B، C و D) فعالیت داشتند.. فعالیت آن‌ها شامل تعویض و تحویل شیفت، بازرسی قبل از شروع به کار، بلندکردن بار، حرکت در طول مسیر و تخلیه/ قراردادن بار در محل مدنظر بود. نتایج حاصل از واکاوی وظایف شغلی با استفاده از روش تجزیه‌وتحلیل سلسله مراتبی وظایف (HTA) در شکل ۱ نشان داده شده است.

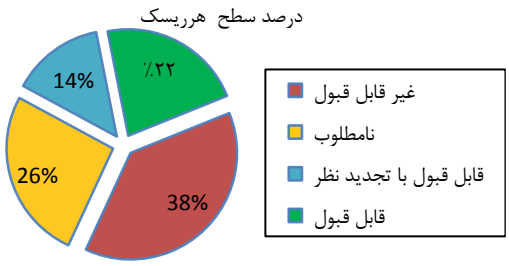
بعد از بررسی فعالیت اپراتوری جرثقیل‌ها ابتدا تحلیل وظیفه سلسه مراتبی (شکل ۱) انجام شد که به ۵ وظیفه اصلی (تعویض و تحویل شیفت، بازرسی قبل از شروع به کار، بلند کردن بار، حرکت در طول مسیر و تخلیه/ قراردادن بار در محل مدنظر) و ۱۶ زیروظایف تقسیم شد. در این مطالعه پس از تجزیه‌وتحلیل وظایف شغلی در قالب جداول HTA، پس از تکمیل و تجزیه‌وتحلیل کاربرگ‌های SHERPA، در مجموع ۲۱۷ خطای انسانی در اپراتورهای جرثقیل سقفی کابین‌دار شناسایی شد. شکل ۲ مقادیر مربوط به انواع خطاهای عملکردی، بازبینی، بازیابی، ارتباطی و خطاهای نوع انتخابی را نشان می‌دهد. بیشترین درصد خطاها مربوط به خطای عملکردی است.

معیار تصمیم‌گیری بر اساس شاخص ریسک و ماتریس ارزیابی ریسک است (جدول ۳ و ۴). بر اساس نتایج مندرج در شکل ۳، ۳۸ درصد از خطاها در سطح ریسک غیرقابل قبول،۲۶ درصد در سطح ریسک نامطلوب، ۱۴ درصد در سطح قابل قبول با تجدید نظر و ۲۲ درصد در سطح قابل قبول بدون نیاز به تجدید نظر بودند؛ بنابراین، بیشترین خطاها در سطح ریسک نامطلوب و کمترین در سطح ریسک قابل قبول با تجدید نظر قرار دارند.

یافته‌های حاصل از ارزیابی و تحلیل به روش SPAR-H در جدول ۵ آمده است. بیشترین احتمال خطا بدون محاسبه ضریب وابستگی مربوط به وظایف حرکت‌های



شکل ۲: مقادیر مربوط به انواع خطا



شکل ۳: فراوانی سطح ریسک خطاها

عرضی، طولی و بالا و پایین آوردن بار (۰/۳۳۸۱) و کمترین احتمال خطا مربوط به فعالیت‌های ثبت گزارش شیفت و انتقال اطلاعات به صورت گفتاری و نوشتاری (۰/۰۰۱) بوده است. با در نظر گرفتن وابستگی، بیشترین احتمال خطا مربوط به حرکت‌های عرضی، طولی و بالا و پایین آوردن بار (۰/۳۷۱۲) و کمترین احتمال خطا مربوط به وظیفه ثبت گزارش شیفت و انتقال اطلاعات به صورت گفتاری و نوشتاری (۰/۰۰۱) است.

جدول ۵: تحلیل میزان احتمال خطا در فعالیت‌های جرثقیل‌های ۲۴۰ واحد ذوب

آیتم‌ها		احتمال خطا در فعالیت‌های تشخیصی و عملکردی		احتمال خطای کل بدون ضریب وابستگی/ pw/od	احتمال خطای کل با وابستگی
وظایف	زیروظایف	تشخیصی	عملکردی		
تعویض و تحویل شیفت	حضور در پارکینگ برای تعویض شیفت	۰/۰۱۶۵	۰/۰۸۰۱	۰/۰۹۶۶	۰/۱۴۱۷
	ثبت گزارش شیفت و انتقال اطلاعات به صورت گفتاری و نوشتاری	-	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱
بازرسی قبل از شروع به کار	بازرسی به صورت چشمی و شنیدن صداهای نامتعارف	۰/۰۱۶۵	۰/۰۸۶۴	۰/۱۰۲۹	۰/۱۴۱۷
	تست آژیرها، سلکتورها، پدال‌ها و اهرم‌ها	۰/۰۹۹۷	۰/۰۸۶۴	۰/۱۸۶۲	۰/۲۲۶۹
بلند کردن بار	حرکت هوک و قلاب به پایین	۰/۰۹۹۷	۰/۰۸۶۴	۰/۱۸۶۲	۰/۲۲۶۹
	قرار گرفتن هوک و قلاب بالای بار	۰/۰۹۹۷	۰/۰۸۶۴	۰/۱۸۶۲	۰/۲۲۶۹
	اتصال قلاب به بار	۰/۰۹۹۷	۰/۰۸۶۴	۰/۱۸۶۲	۰/۲۲۶۹
	بالا بردن بار	۰/۰۹۹۷	۰/۰۸۶۴	۰/۱۸۶۲	۰/۲۲۶۹
حرکت در طول مسیر	حرکت عرضی	۰/۱۷۹۱	۰/۱۵۹۰	۰/۳۳۸۱	۰/۳۷۱۲
	حرکت طول	۰/۱۷۹۱	۰/۱۵۹۰	۰/۳۳۸۱	۰/۳۷۱۲
	حرکت بالا و پایین	۰/۱۷۹۱	۰/۱۵۹۰	۰/۳۳۸۱	۰/۳۷۱۲
	توقف حرکت	۰/۰۹۹۷	۰/۰۸۶۴	۰/۱۸۶۲	۰/۲۲۶۹
تخلیه/ قراردادن بار در محل مدنظر	حرکت هوک و قلاب به پایین	۰/۰۹۹۷	۰/۰۸۶۴	۰/۱۸۶۲	۰/۲۲۶۹
	قرار دادن بار در محل مدنظر	۰/۰۹۹۷	۰/۰۸۶۴	۰/۱۸۶۲	۰/۲۲۶۹
	جدا کردن قلاب از بار	۰/۰۹۹۷	۰/۰۸۶۴	۰/۱۸۶۲	۰/۲۲۶۹
	بالابردن هوک و قلاب	۰/۰۹۹۷	۰/۰۸۶۴	۰/۱۸۶۲	۰/۲۲۶۹

بحث

با توجه به اینکه حمل و جابه‌جایی بار با جرثقیل‌های سقفی ریسک زیادی از نظر وقوع حوادث در صنایع دارد و خطای انسانی یکی از مهم‌ترین دلایل حوادث مرتبط با جرثقیل‌هاست، در مطالعه حاضر خطاهای انسانی اپراتورهای جرثقیل‌های سقفی کابین‌دار در واحد ارسال محصول یک صنعت فلزی به روش SHERPA و SPAR-H شناسایی و ارزیابی شد. نتایج نشان داد ۹۰ خطای انسانی شناسایی‌شده (۴۱ درصد از کل خطاهای انسانی) مرتبط با عملکرد (اقدام) اپراتور جرثقیل بوده است که بیشترین درصد خطا را به خود اختصاص داد.

تعویض و تحویل شیفت ۵/۵ درصد، بازرسی قبل از شروع به کار ۶/۶ درصد، بلندکردن بار ۲۲ درصد، حرکت در طول مسیر ۴۰ درصد و تخلیه/ قراردادن بار در محل مدنظر ۲۷/۷ درصد از خطا را شامل می‌شود. بیشترین میزان خطا مربوط به خطای عملکردی و کمترین آن مربوط به خطای انتخابی است. نتایج به‌دست‌آمده از مطالعات مذکور با نتایج پژوهش حاضر همخوانی دارد. در مطالعه محمدفام که در سال ۱۳۹۸ با هدف شناسایی و ارزیابی خطاهای انسانی اپراتورهای جرثقیل برجی با استفاده از ترکیب دو روش SHERPA و CREAM انجام شد، نتایج نشان داد از میزان درصد کل خطاها، ۴۳ درصد مربوط به خطای عملکردی بود که بیشترین میزان خطا به حساب می‌آمد. همچنین کمترین میزان خطا مربوط به خطای انتخابی بود [۲۱].

در مطالعه Mandal و همکاران که در سال ۲۰۱۵ با هدف شناسایی خطاهای اپراتور جرثقیل سقفی کابین‌دار و دروازه‌ای با استفاده از روش SHERPA انجام شد، بیشترین میزان خطا مربوط به خطاهای عملکردی بود [۹]. تمام مطالعات انجام‌شده با استفاده از روش SHERPA حاکی از کیفی بودن این روش و نشان‌دهنده آن است که به دلیل بررسی نکردن عوامل مؤثر بر عملکرد، روش مذکور دقت زیادی ندارد و استفاده از روش‌هایی برای کمی‌سازی احتمال خطاهای انسانی ضروری به نظر می رسد؛ بنابراین، نتایج حاصل از به‌کارگیری روش مکمل مانند SPAR-H حاکی از آن است که متغیرهایی مثل زمـان در دسترس، استرس، تجربه و آموزش، پیچیدگی، تداخل انسان-ماشین، دستورالعمل، تناسـب بـا وظیفـه و فراینـد کـار ازجمله عوامل مؤثر بر عملکرد هستند [۲۴]. با توجه به جدول ۵، زیروظایف حرکت‌های عرضی، طولی و بالا و پایین آوردن بار با احتمال خطای ۰/۳۷۱۲ و زیروظیفه ثبت گزارش شیفت و انتقال اطلاعات به صورت گفتاری و نوشتاری با احتمال خطای ۰/۰۰۱ به ترتیب بیشترین و کمترین احتمال خطا را به خود اختصاص داده‌اند.

در بعد تشخیصی، بیشترین احتمال رخداد خطا به ترتیب مربوط به حرکت‌های عرضی، طولی و بالا و پایین آوردن بار (۰/۱۷۹) و کمترین آن مربوط به زیروظایف حضور در پارکینگ برای تعویض شیفت و مشاهده اجزاست. در بعد عملکردی نیز بیشترین احتمال رخداد خطا مربوط به حرکت‌های طولی، عرضی و بالا و پایین آوردن بار (۰/۱۵۹) است. احتمال رخداد خطا در بقیه زیروظایف عملکردی کمتر و به یک اندازه (۰/۰۰۱) است. به‌منظور کاهش خطاهای انسانی در اپراتورهای جرثقیل‌های کابین‌دار باید روی کاهش عوامل کاهنده عملکرد تمرکز کرد. ازجمله عوامل بروز خطاهای انسانی در فعالیت اپراتورهای جرثقیل سقفی کابین‌دار می‌توان به طراحی در تراکم و چیدمان محصولات، ارتفاع محصولات دپوشده در مسیر حرکت جرثقیل‌ها که موجب داشتن حرکات زیگزاگی و بالا و پایین مکرر می‌شود، مسائل غیرارگونومیکی (غیراستاندارد و خراب بودن صندلی‌های اپراتورهای جرثقیل‌ها)، مشکلات سیستم‌های ارتباطی، نبود جای ثابت به‌منظور قرار گرفتن تریلرها برای جابه‌جایی و انتقال محصول به مکان‌های دیگر اشاره کرد.

ازجمله حوادث رخداده در زمینه فعالیت جرثقیل‌های سقفی می‌توان به حوادثی مثل بروز حادثه برای اپراتور در زمان تعویض شیفت، سقوط شمش‌ها در طول مسیر یا روی خودروهای حمل اسلب و برخورد به تجهیزات در طول مسیر اشاره کرد. در ارتباط با عامل ارگونومی در ایجاد خطاهای انسانی در جرثقیل‌های سقفی مغایرت‌هایی از قبیل پوسچر نامناسب (خم کردن سر و گردن به جلو با زاویه بیش از ۳۰ درجه، رخش کمر به دلیل وجود نقاط کور در زمان باربرداری)، طراحی نامناسب صندلی‌ها، لرزش و ارتعاشات بیش از حد جرثقیل‌ها، طراحی نامناسب کابین جرثقیل، وجود نرده در مسیر دید اپراتور مشاهده شد. نتایج مطالعه Van De Merwe و همکاران در سال ۲۰۱۴ نشان داد تعامل بین انسان و ماشین یکی از عوامل ایجادکننده خطاست که با نتایج مطالعه حاضر همخوانی دارد [۲۶].

در بخش دستورالعمل‌ها طبق مصاحبه و خوداظهاری اپراتورها و بررسی‌های انجام‌شده، اطلاع‌رسانی و آموزش دستورالعمل‌ها به اپراتورها انجام نشده بود. یکی دیگر از مغایرت‌ها در این زمینه، عدم استفاده صحیح و درست از دستورالعمل‌هاست. نتایج مطالعه مرتضوی و همکاران نشان داد خطا به دلیل در دسترس نبودن دستورالعمل‌های مکتوب یا آموزش ندادن دستورالعمل‌های مناسب بوده است که با نتایج مطالعه حاضر همخوانی دارد [۲۷].

از دیگر عوامل بروز خطاهای انسانی در این فعالیت می‌توان به عوامل ایجادکننده استرس روحی و روانی و فیزیکی مثل بار کاری، تنش‌های کاری، ایجاد خیرگی، شدت صوت بیشتر از حد

مجاز (۸۵ دسی‌بل)، وجود فیوم‌های فلزی ناشی از اسکارف و برش‌کاری اشاره کرد. در مطالعه عیوضلو و همکاران در ارتباط با یک ژنراتور تولید داروی هسته‌ای با استفاده از روش SPAR-H، ۷۶ درصد از زیروظایف سطح استرس زیاد و ۹۰ درصد از آن‌ها پیچیدگی داشتند که این موضوع نشان‌دهنده همبستگی زیاد این دو عامل است [۲۸]. در روش SPAR-H یکی از عوامل مؤثر بر عملکرد، آموزش و تجربه است. آموزش امری ضروری است و باید مسئولان مربوطه به این موضوع توجه ویژه ای داشته باشند و برنامه‌ریزی مدون و زمان‌بندی شده‌ای را برای بازآموزی و یادآوری موارد آموزشی منطبق با نیازهای شغلی تدوین و اجرا کنند تا از این راه بتوان از بروز بخشی از خطاهای احتمالی در اجرای وظیفه شغلی اپراتورها جلوگیری کرد. طی مصاحبه و گزارش خوداظهاری اپراتورهای جرثقیل مشخص شد برگزاری دوره‌های آموزشی بعد از انجام فعالیت کاری شیفت شب (برگزاری کلاس آموزشی روز بعد از شیف کاری شب) به دلیل خواب‌آلودگی و خستگی کیفیت لازم را ندارد. با توجه به تأثیر آموزش در کاهش خطای انسانی، نیاز است برای اپراتورهای جرثقیل‌ها دوره‌های آموزشی و بازآموزی تدارک دیده شود و مواردی که باعث کاهش کیفیت آموزش می‌شود، بازبینی و اصلاح شود. در مطالعه قلعه‌نوعی و همکاران مهم‌ترین عوامل مؤثر در بروز خطای انسانی در اپراتورهای اتاق کنترل، خستگی، کمبود تجربه، هوشیاری، پیچیدگی وظایف، استرس روحی، بار کاری زیاد، تمرکز، عدم وضوح دستورالعمل‌ها و عدم کفایت آموزش‌ها عنوان شده است [۲۹].

نتیجه‌گیری

ازآنجاکه مطالعات محدودی در زمینه شناسایی خطای انسانی در اپراتورهای جرثقیل سقفی کابین‌دار انجام شده است و همچنین نظر به اهمیت نقش اساسی این اپراتورها در فرایند تولید، می‌توان از یافته‌های مطالعه حاضر در زمینه کاهش خطای انسانی استفاده کرد. با توجه به اینکه بیشترین خطای عملکرد مربوط به فعالیت حرکت در طول مسیر است، از اقدامات کنترلی در راستای کاهش خطا می‌توان به اصلاح یا تغییر کابین جرثقیل‌ها، اصلاح سیستم روشنایی، استفاده نکردن از اپراتورهای بی‌تجربه، در نظر گرفتن محل‌های مشخص برای بارگیری تریلرها، نظارت و جلوگیری از قرارگیری رانندگان روی کفی تریلرها در زمان بارگیری اشاره کرد. درنهایت به‌منظور پیشگیری و کاهش وقوع هر کدام از خطاهای شناسایی‌شده و محدود کردن پیامدهای ناشی از آن‌ها، اقدامات کنترلی مناسب در قالب تغییرات سخت‌افزاری در طراحی تجهیزات، تعمیر و نگهداری به‌موقع تجهیزات، تغییر در فرایندهای کاری، نوع آموزش، بازنگری و تدوین دستورالعمل‌های کاری اشاره کرد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله از مدیریت محترم HSE، کارکنان واحدهای جرثقیل و واحد تحقیق و توسعه شرکت فولاد هرمزگان که در این پژوهش همکاری کردند، تشکر و قدردانی می‌کنند.

تضاد منافع

این مقاله هیچ تعارض منافعی ندارد.

ملاحظات اخلاقی

در این مطالعه تمام ملاحظات اخلاقی رعایت شده است. تمامی افراد شرکت‌کننده با آگاهی و رضایت کامل در این مطالعه مشارکت داشته‌اند.

سهم نویسندگان

نویسندگان اول و دوم در طراحی پژوهش و جمع‌آوری داده ها و نویسنده سوم در تجزیه و تحلیل و نگارش مقاله نقش داشته‌اند.

حمایت مالی

این مطالعه از سوی شرکت فولاد حمایت مالی شده است.

REFERENCES

1. Hollnagel EJC, control. Human reliability analysis. 1993.
2. Mahdavi S, Farsani E, Taajvar AJJHSW. Identification and assessment of human error due to design in petroleum refinery sour water equipment damage by SHERPA. *JHSW*. 2013;**2**(4):61-70.
3. Zare A, Yazdani Rad S, Dehghani F, Omidi F, Mohammadfam IJH, Work Sa. Assessment and analysis of studies related human error in Iran: A systematic review. *JHSW*. 2017;**7**(3):267-78.
4. Jahangiri M, Hoboubi N, Rostamabadi A, Keshavarzi S, Hosseini AA. Human error analysis in a permit to work system: a case study in a chemical plant. *Saf Heal Wo*. 2016;**7**(1):6-11. DOI: 10.1016/j.shaw.2015.06.002
5. Petersen DC. Human Error Reduction And Safety Management. 1981;2210-2210.
6. Karwowski W. Accident Analysis and "Human Error". Int Ency Ergon Hu Fac-3. CRC Press; 2006, 1937-40pp.
7. Dhillon BS. Human reliability, error, and human factors in engineering maintenance: with reference to aviation and power generation: CRC Press; 2009.
8. Liu H, Hwang S-L, Liu T-HJSs. Economic assessment of human errors in manufacturing environment. *Saf Sci*. 2009;**47**(2):170-82. DOI:10.1016/j.ssci.2008.04.006
9. Mandal S, Singh K, Behera R, Sahu S, Raj N, Maiti JJESwA. Human error identification and risk prioritization in overhead crane operations using HTA, SHERPA and fuzzy VIKOR method. *Exp Sys Appl*. 2015;**42**(20):7195-206. DOI: 10.1016/j.eswa.2015.05.033
10. Salmon P, Stanton N, Baber C, Walker G, Green DJHFIDTR. Human factors design and evaluation methods review. 2004. https://eprints.soton.ac.uk/368316/1/__soton.ac.uk_ude_personalfiles_users_jr1d11_mydesktop_ePrints_hf-design-methods-review.pdf
11. Mirzaei aliabadi M, Mohammad fam I, Karimi S.

Identification and assessment of human errors in blasting operations in Iron Ore Mine using SHERA technique. *J Occupa Hyg Eng*. 2015;**2**(1):57-65.
12. Karimi S, Aliabadi MM, Eskandari T, Rostami M, Shendi A, Kolahdouzi M, et al. Evaluation of Human Error in Mining Operations Using a Technique for Human Event Analysis. *JOHE*. 2018;**2018**:44-52. DOI: 10.21859/johe-5.1.44
13. Stanton N, Salmon PM, Rafferty LA. Human factors methods: a practical guide for engineering and design: Ashgate Publishing, Ltd.; 2013. DOI: 10.1201/9781315587394
14. Kirwan B. A guide to practical human reliability assessment: CRC press; 1994.
15. Sands G, Fallon EF, van der Putten WJ. The utilisation of probabilistic risk assessment in radiation oncology. *Proce Manu*. 2015;**3**:250-7. DOI:10.1016/j.promfg.2015.07.138
16. Gertman DI, Blackman HS. Human reliability and safety analysis data handbook: John Wiley & Sons; 1993.
17. Walsh T, Beatty PC. Human factors error and patient monitoring. *Phys Measu*. 2002;**23**(3):R111. DOI: 10.1088/0967-3334/23/3/201
18. Mahdavi S, Farsani EH, Taajvar A. Identification and assessment of human error due to design in petroleum refinery sour water equipment damage by SHERPA. *J Health Saf Work*. 2013;**2**(4):61-70.
19. Tanha F, Mazloumi A, Faraji V, Kazemi Z, Shoghi MJJoH. Evaluation of human errors using standardized plant analysis risk human reliability analysis technique among delivery emergency nurses in a hospital affiliated to Tehran University of Medical Sciences. *HOSPITAL*. 2015;**14**(3):57-66.
20. Rasouli kahaki Z, Tahernejad S, Rasekh R, Jahangiri M. Evaluation of Human Reliability by Standardized Plant Analysis Risk HRA (SPAR-H) method in the Dialysis Process in Ibn Sina Hospital, Shiraz. *J Ergono*. 2019;**7**(3):44-56. DOI: 10.30699/jergon.7.3.44
21. Borgheipour H, Monazami Tehrani G, Madadi S, Mohammadfam I. Identification and assessment of human errors among tower crane operators using SHERPA and CREAM techniques. *J Heal Saf Wo*. 2020;**10**(1):12-23.
22. Embrey D, editor SHERPA: A systematic human error reduction and prediction approach. Proceedings of the international topical meeting on advances in human factors in nuclear power systems; 1986. https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:18074340
23. Tatiya RR. Elements of industrial hazards: health, safety, environment and loss prevention: CRC Press; 2010.
24. Blackman HS, Gertman DI, Boring RL, editors. Human error quantification using performance shaping factors in the SPAR-H method. Proceedings of the human factors and ergonomics society annual meeting; SAGE Publications Sage CA: Los Angeles, CA. 2008; **52**(21):77-84. DOI:10.1177/154193120805202109
25. Whaley AM, Kelly DL, Boring RL, Galyean WJ. SPAR-H step-by-step guidance. Idaho National Laboratory (INL), 2012.
26. Van De Merwe K, Hogenboom S, Rasmussen M, Laumann K, Gould KJSE, Management. Human-reliability analysis for the petroleum industry: lessons learned from applying SPAR-H. *SPE Econo Manag*. 2014;**6**(04):159-64. DOI:10.2118/168470-MS
27. Mortazavi S, Mahdavi S, Asilian H, Arghami S, Gholamnia R. Identification and assessment of human errors in srp unit of control room of tehran oil refinery using heist technique. *Ker Univ Med Sci*. 2008;**12**(3):e79969.
28. Eyvazlou M, Dadashpour Ahangar A, Rahimi A, Davarpanah MR, Sayyahi SS, Mohebali MJIjoos, et al. Human reliability assessment in a 99Mo/99mTc generator production facility using the standardized plant analysis risk-human (SPAR-H) technique. *Int J Occup Saf Ergon*. 2019;**25**(2):321-30. DOI: 10.1080/10803548.2017.1415832
29. Ghalenoei M, Asilian H, Mortazavi S, Varmazyar S. Human erroranalysis among petrochemical plant control room operators with human errorassessment and reduction technique. *Ir Occupa Heal J*. 2009;**6**(2):38-50.